



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 197 46 719 C 1

51 Int. Cl.⁶:
H 02 H 7/26
G 01 R 21/06
G 01 R 31/00
G 01 R 27/16
H 02 H 3/40

21 Aktenzeichen: 197 46 719.9-32
22 Anmeldetag: 15. 10. 97
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 6. 5. 99

DE 197 46 719 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Jurisch, Andreas, Dr.-Ing., 13587 Berlin, DE;
Schwenke, Michael, Dr.-Ing., 15566 Schöneiche, DE

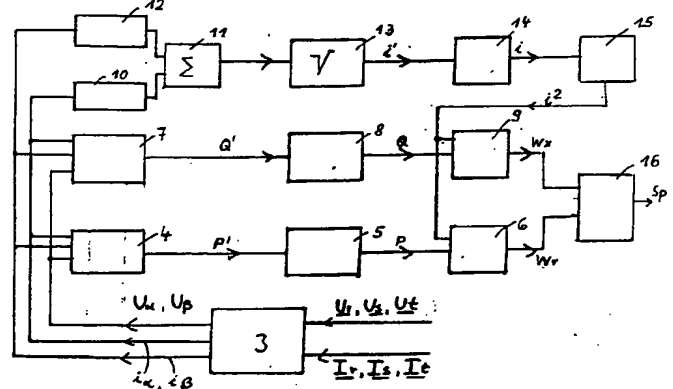
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 41 00 646 C2
DE 1 95 03 626 A1

JAHN, H.H., KASPER, R.: "Koordinatentransforma-
tion zur Behandlung von Mehrphasensystemen".
In: Archiv für Elektrotechnik 56 (1974) S.105-111;
Jurisch, A.: Digitale Impedanzmeßverfahren auf
der
Basis von Identifikationsmethoden, Dissertation
TH Zittau, 1990, S. 58-70;

54 Verfahren zum Gewinnen eines eine Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz anzeigenden
Signals

57 Bei dem Verfahren werden aus Phasenstrom- und Pha-
senabstastwerten eines elektrischen Energieversorgungs-
netzes Strom- und Spannungsraumzeiger ($i_{\alpha}, i_{\beta}, u_{\alpha}, u_{\beta}$)
des Mitsystems gebildet und daraus Leistungsgrößen (P^i ,
 Q^i) des Mitsystems gewonnen. Aus diesen Leistungsgrö-
ßen werden mittels jeweils einer Least-Squares-Schät-
zung netzfrequente Anteile eliminiert und so eine Mitsys-
temwirkleistungsgröße (P) und eine Mitsystemblindlei-
stungsgröße (Q) gebildet. Durch Quotientenbildungen
mit einer ebenfalls unter Anwendung der Least-Squares-
Schätzung gewonnenen Mitsystemstrommeßgröße (i)
werden Mitsystemimpedanzwerte (Z) erzeugt. Diese wer-
den auf Monotonie und sprunghafte Veränderungen
überprüft und gegebenenfalls ein Pendelverdachtsignal
gebildet. Außerdem wird zur Gewinnung eines Pendelbe-
stätigungssignals (M) der jeweilige Kreismittelpunkt der
Bahnkurve der Mitsystemimpedanzwert (Z) bestimmt
und mit dem jeweiligen Mitsystemreaktanzwert bezüglich
seines Imaginärteils verglichen. Liegen Pendelverdacht-
und Pendelbestätigungssignal gleichzeitig vor, wird das
Pendelsignal (S_p) gebildet.



DE 197 46 719 C 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Gewinnen eines Pendelsignals in einem elektrischen Energieversorgungsnetz anzeigenden Signals (Pendelsignals) mit Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein Verfahren dieser Art ist in der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 03 626 A1 beschrieben. Bei diesem Verfahren werden auf eine Anregung hin aus abgetasteten Strom- und Spannungswerten Impedanzwerte in vorgegebenen zeitlichen Abständen gebildet. Aus dem ersten in ein Pendelpolygon fallenden Impedanzwert und aus dem vorangehenden Impedanzwert wird die zeitliche Größe ihrer Änderung bestimmt und bei einer unter einem vorgegebenen Grenzwert liegenden Änderung ein Pendelverdachtsignal erzeugt. Ergibt sich bei der weiteren Überprüfung der Impedanzwerte ein in ein Auslösepolygon eines Distanzschutzes fallender Impedanzwert, dann wird das Pendelsignal erzeugt, sofern das Pendelverdachtsignal weiterhin ansteht. Mit diesem Verfahren lassen sich Pendelungen mit einer Frequenz bis höchstens 1 Hz erkennen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Gewinnen eines Pendelsignals gemäß der DE 195 03 626 A1 so weiter zu entwickeln, daß sich damit höherfrequente Pendelungen erkennen lassen.

Zur Lösung dieser Aufgabe werden bei dem eingangs angegebenen Verfahren erfindungsgemäß die Verfahrensschritte gemäß dem Kennzeichen des Patentanspruches 1 ausgeführt.

Es sind zwar aus der deutschen Patentschrift DE 41 00 646 C2 ein Verfahren und eine Anordnung zum Schutz von Distanzschutzeinrichtungen vor unerwünschter Auslösung während transienter Leistungspendelungen bekannt, bei dem mindestens ein Blockiersignal für die Distanzschutzeinrichtung durch die zeitliche Ableitung einer leistungsbezogenen elektrischen Größe erzeugt und eine unerwünschte Auslösung der Distanzeinrichtung unter Verwendung einer Impedanz-Ortskurve verhindert wird, jedoch werden hierbei die sich jeweils ergebenden Veränderungen der Wirk- und der Blindleistung nach Differenzbildung in Beziehung zur Scheinleistung gesetzt und dieser Quotient zur Bildung eines Pendelsignals herangezogen.

Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß mit ihm Pendelungen schnell erkannt werden können, wobei die Pendelungen deutlich von dreipoligen Fehlern unterscheidbar sind. Außerdem erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren die Erkennung relativ hochfrequenter Pendelungen, und zwar auch dann, wenn sich der Polradwinkel über der Zeit ungleichmäßig ändert. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, daß die aus zeitlich aufeinander folgenden Mitsystemimpedanzwerten jeweils gebildete Bahnkurve wegen der Least-Squares-Schätzung gut geglättet und damit gut auswertbar ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden vorteilhafterweise bei innerhalb des Pendelpolygons liegenden, durch jeweils zeitlich einander zugeordnete Mitsystemresistanz- und Mitsystemreaktanz gebildeten Mitsystemimpedanzwerten zeitlich aufeinander folgende Mitsystemresistanzwerte auf das Einhalten einer Mindeständerungsgeschwindigkeit überwacht, und es wird bei Unterschreiten dieser Geschwindigkeit das Pendelsignal aufgehoben.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung zeigen

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 ein Diagramm mit einer Darstellung des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 eine Impedanzortskurve bei Pendelvorgängen,

Fig. 4 ein Diagramm zur Erklärung der Schätzung des jeweiligen Kreismittelpunktes der Bahnkurve der Mitsystemimpedanzwerte,

Fig. 5 Zeitverläufe der Mitsystemwirk- und der Mitsystemblindleistungsgröße,

Fig. 6 Zeitverläufe der Mitsystemwirk- und der Mitsystemblindleistungsmeßgröße und

Fig. 7 eine Bahnkurve der Mitsystemimpedanzwerte bei Pendelungen nach einem dreipoligen Fehler.

Fig. 1 zeigt eine Einrichtung **3** zur Strom- und Spannungsraumzeigerbildung, die eingangsseitig in nicht dargestellter Weise über Stromwandler und Spannungswandler an drei Phasen einer dreiphasigen elektrischen Energieversorgungsleitung angeschlossen ist. Die Einrichtung **3** zur Raumzeigerbildung ist ausgangssseitig u. a. an eine Einrichtung **4** zur Bildung einer Mitsystemwirkleistungsgröße P' angeschlossen, der ausgangssseitig ein Least-squares-Schätzer **5** nachgeordnet ist. Der Least-Squares-Schätzer **5** ist ausgangssseitig an einen Eingang eines Quotientenbildners **6** angeschlossen. An die Einrichtung **3** ist außerdem eine Einrichtung **7** zur Bildung einer Mitsystemblindleistungsgröße Q' angeschlossen, der ein weiterer Least-Squares-Schätzer **8** nachgeordnet ist; am Ausgang dieses weiteren Least-Squares-Schätzers **8** steht eine Mitsystemblindleistungsmeßgröße Q an, die über einen Eingang einem weiteren Quotientenbildner **9** zugeführt wird.

Der Stromraumzeiger i_α der Einrichtung **3** wird in einem Quadrierer **10** quadriert, dem ein Summierer **11** nachgeordnet ist. An den Summierer **11** ist eingangsseitig ein weiterer Quadrierer **12** angeschlossen, der eingangsseitig mit dem weiteren Stromraumzeiger i_β der Einrichtung **3** beaufschlagt ist. Ausgangssseitig ist an den Summierer **11** eine Radizierstufe **13** angeschlossen, der ein Least-Squares-Schätzer **14** nachgeordnet ist. Von der Radizierstufe **13** wird eine Mitsystemgröße i' erzeugt, aus der mittels des Least-Squares-Schätzers **14** eine Mitsystemstrommeßgröße i gebildet wird. Über eine Quadrierstufe **15** ist der Least-Squares-Schätzer **14** mit weiteren Eingängen der Quotientenbildner **6** und **9** verbunden.

Von dem Quotientenbildner **6** werden Mitsystemresistanzwerte W_r und von dem weiteren Quotientenbildner **9** Mitsystemreaktanzwerte W_x gebildet und einer Auswerteeinrichtung **16** zugeführt, die gegebenenfalls an ihrem Ausgang ein Pendelsignal S_p abgibt.

Mit der Anordnung gemäß **Fig. 1** läßt sich das Pendelsignal S_p wie folgt erzeugen:

Zunächst werden in der Einrichtung **3** zur Strom- und Spannungsraumzeigerbildung Phasenströme I_r, I_s, I_t und Phasenspannungen U_r, U_s, U_t des nicht dargestellten, beispielsweise von einer dreiphasigen Energieübertragungsleitung gebildeten Energieversorgungsnetzes unter Bildung von Phasenstrom- und Phasenspannungsabstastwerten u_r, u_s, u_t, i_r, i_s und i_t abgetastet. Diese Abstastwerte werden einer $\alpha\beta$ -Transformation (Clarke-Transformation) unterzogen, wodurch sich transformierte Stromabstastwerte bzw. Stromraumzeiger i_α, i_β sowie transformierte Spannungsabstastwerte bzw. Spannungsraumzeiger u_α und u_β des Mitsystems bestimmen lassen (vgl. "Koordinatentransformationen zur Behandlung von Mehrphasensystemen", H.-H. Jahn und R. Kasper, Archiv für Elektrotechnik, 56 (1974) S. 105-111):

$$\begin{aligned}
 i_{\alpha} &= \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot (i_R - 0.5 \cdot (i_S + i_T)) \\
 i_{\beta} &= \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot (i_S - i_T) \\
 u_{\alpha} &= \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot (u_R - 0.5 \cdot (u_S + u_T)) \\
 u_{\beta} &= \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot (u_S - u_T)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Aus diesen transformierten Abtastwerten bzw. Raumzeigern wird in der Einrichtung 4 eine dem Augenblickswert der Mitsystemwirkleistung proportionale Mitsystemwirkleistungsgröße P' gebildet gemäß der folgenden Gleichung:

$$P' = \frac{1}{2} \cdot (u_{\alpha} i_{\alpha} + u_{\beta} i_{\beta}) \tag{2}$$

Im weiteren wird davon ausgegangen, daß die Mitsystem-Wirkleistungsgröße P' im Falle eines Kurzschlusses oder einer Netzpendelung einen zeitlichen Verlauf aufweist, der sich durch das folgende Signalmodell beschreiben läßt:

$$y_i = A \cdot e^{-\frac{i \cdot T_A}{\tau}} \cdot \sin(\omega_0 i \cdot T_A) + B \cdot e^{-\frac{i \cdot T_A}{\tau}} \cdot \cos(\omega_0 i \cdot T_A) + C \tag{3}$$

Darin bezeichnen y_i Abtastwerte der Strom- bzw. Spannungsraumzeiger, τ eine (später erklärte) Zeitkonstante, ω_0 die Netzfrequenz und T_A die Abtastperiode.

Der erste Term der Gleichung (3) beschreibt im Falle der Betrachtung der Mitsystemwirkleistungsgröße P' einen zeitlich exponentiell abklingenden, mit Netzfrequenz schwingenden sinusförmigen Signalanteil der Mitsystemwirkleistungsgröße P' , der zweite Term einen weiteren zeitlich exponentiell abklingenden, mit Netzfrequenz schwingenden Signalanteil der Mitsystemwirkleistungsgröße P' , wobei der eine und der weitere Signalanteil zueinander orthogonal sind, da der weitere Signalanteil cosinusförmig ist. C bezeichnet einen mit einer Pendelfrequenz schwingenden Anteilsmeßwert der Mitsystemwirkleistungsgröße P' , wobei der Anteilsmeßwert (Pendelanteilsmeßwert) C zeitabhängig ist und somit einen Augenblickswert kennzeichnet.

Das Signalmodell gemäß Gleichung (3) geht davon aus, daß bei einem dreipoligen Kurzschluß praktisch keine Wirkleistung und damit auch keine Mitsystemwirkleistung mehr umgesetzt wird, so daß die Mitsystemwirkleistungsgröße P' bei einem solchen Kurzschluß auf einen sehr kleinen Wert – nahe Null – abfallen muß; diesem Abfall der Mitsystemwirkleistungsgröße P' wird durch die ersten beiden Terme in der Gleichung (3) Rechnung getragen. In dem Signalmodell gemäß Gleichung (3) werden auch Leistungspendelungen erfaßt, und zwar durch den dritten Term bzw. durch den Pendelanteilsmeßwert C . Mit dem Pendelanteilsmeßwert C werden nämlich diejenigen Frequenzanteile in der Mitsystemwirkleistungsgröße P' berücksichtigt, die unterhalb der Netzfrequenz liegen und damit für Netzpendelungen charakteristisch sind.

Die Mitsystemwirkleistungsgröße P' wird zu dem Least-Squares-Schätzer 5 übertragen, in dem die netzfrequenten Anteile in der Mitsystemwirkleistungsgröße P' entfernt werden und eine Mitsystemwirkleistungsmeßgröße P gebildet wird. Diese Mitsystemwirkleistungsmeßgröße P entspricht dem zeitlich mit einer Pendelfrequenz schwingenden Pendelanteilsmeßwert C der Mitsystemwirkleistungsgröße P' .

In entsprechender Weise wird mittels der Einrichtung 7 und dem weiteren Least-Squares-Schätzer 8 aus der Mitsystemblindleistungsgröße Q' , die gemäß der folgenden Gleichung (4) gebildet ist, die Mitsystemblindleistungsmeßgröße Q gebildet, die ebenfalls dem Pendelanteilsmeßwert C der Mitsystemblindleistungsgröße Q' entspricht.

$$Q' = \frac{1}{2} \cdot (u_{\beta} i_{\alpha} - i_{\alpha} u_{\beta}) \tag{4}$$

Mit den Bausteinen 10 bis 13 nach Fig. 1 wird gemäß der Beziehung (5)

$$i' = \sqrt{i_{\alpha}^2 + i_{\beta}^2} \tag{5}$$

eine Mitsystemstromgröße i' gebildet, aus der unter Benutzung des oben angegebenen Signalmodells mittels des Least-Squares-Schätzers 14 die Mitsystemstrommeßgröße i gebildet wird, die dem Pendelanteilsmeßwert C in der Mitsystemstromgröße i' entspricht.

Durch die Quotientenbildung mittels der Quotientenbildner 6 und 9 ergeben sich Mitsystemresistanzwerte W_r und

Mitsystemreaktanzwerte W_x ,

$$W_r = \frac{P}{i^2} \quad (6)$$

$$W_x = \frac{Q}{i^2} \quad (7)$$

die in der Auswerteeinrichtung 16 verarbeitet werden.

Bevor darauf näher eingegangen wird, soll die Vorgehensweise bei der Least-Squares-Schätzung näher erläutert werden.

Das Schätzverfahren berechnet aus einem begrenzten Signalausschnitt des abgetasteten Raumzeigers die Koeffizienten A, B und C des oben in Gleichung (3) angegebenen Signalmodells:

Dieser Modellansatz liefert über den Parameter C die Amplitude der jeweils geschätzten Raumzeigerkomponente. Die Terme mit den Parametern A und B bilden die durch aperiodische Komponenten entstehenden 50-Hz-Anteile nach. Die Amplitude der 50Hz-Schwingung klingt mit der Zeitkonstante τ der Summenimpedanz

$$\tau = \frac{\sum L}{\sum R} \quad (8)$$

ab, wenn man bei dieser Betrachtung von einem einpoligen Ersatzbild einer von zwei Ersatzmaschinen gespeisten Energieversorgungsleitung mit zwei Ersatzimpedanzen ausgeht.

Der Koeffizientensatz A bis C wird mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least-Squares) ermittelt, wie sie beispielsweise in der Dissertation "Digitale Impedanzmeßverfahren auf der Basis von Identifikationsmethoden" von A. Jurisch, TH Zittau, 1990, Seiten 58 bis 70 beschrieben ist. Aus den vorhandenen Abtastwerten sollen für das Modell nach Gleichung (3) die Koeffizienten A, B und C so bestimmt werden, daß die Summe der Fehlerquadrate zwischen den Abtastwerten y_i und den nach der Gleichung (3) berechneten Abtastwerten \hat{y}_i minimal wird:

$$J = \sum_{i=k-N}^k (y_i - h(\underline{\Theta}_k))^2 \rightarrow \text{MIN} \quad (9)$$

J: Gütekriterium; $h(\underline{\Theta}_k)$: Funktion nach Gleichung (3)

$$\underline{\Theta}_k = \begin{pmatrix} A_k \\ B_k \\ C_k \end{pmatrix} \quad (\text{Vektor mit den zu bestimmenden Koeffizienten}$$

$$A, B \text{ und } C) \quad (10)$$

Zur Lösung der Minimierungsaufgabe muß das Gütekriterium nach den Parametern abgeleitet werden. Für das Signalmodell nach Gleichung (3) erhält man dann:

$$0 = \sum_{i=k-N}^k 2\underline{\gamma}_i^T (\underline{y}_i - \underline{\gamma}_i \underline{\Theta}_k) \quad (11)$$

mit

$$\underline{\gamma}_i^k = \begin{pmatrix} \sin\left(\frac{2\pi}{T} i T_A\right) \cdot e^{-\frac{i T_A}{\tau}} \\ \cos\left(\frac{2\pi}{T} i T_A\right) \cdot e^{-\frac{i T_A}{\tau}} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

wobei sich der Vektor \underline{y}_i ergibt, wenn man die Gleichung (3) als Punktprodukt aus \underline{y}_i und $\underline{\Theta}_k$ darstellt. T bezeichnet die Periode der netzfrequenten Schwingungen des Energieversorgungsnetzes.

Löst man Gleichung (11) nach dem Parametervektor $\underline{\Theta}_k$ auf, so entsteht Gleichung (13) zur Ermittlung des Parameter-

vektors Θ_k , dessen Einsetzen in das Signalmodell nach Gleichung (3) zur besten Nachbildung des gemessenen Signals im Sinne der kleinsten Fehlerquadrate führt.

$$\underline{\Theta}_k = \underline{S}_k^{-1} \sum_{i=1}^k \underline{\gamma}_i^T y_i \quad (13)$$

mit

$$\underline{S}_k = \sum_{i=k-N}^k \underline{\gamma}_i^T \underline{\gamma}_i \quad (14)$$

$$\underline{S}_k = \begin{pmatrix} \sin^2\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} \\ \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \cos^2\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} \\ \sin\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & \cos\left(\frac{2\pi}{T}iT_A\right) \cdot e^{-\frac{iT_A}{\tau}} & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Werden gemäß den obigen Darlegungen die Mitsystemresistanzwerte W_r und die Mitsystemreaktanzwerte W_x nach einer Anregung eines zugeordneten Distanzschatzes berechnet, dann steht eine Bahnkurve in der R-X-Ebene zur Verfügung, und bei Änderung der Werte von W_r und W_x können die Voraussetzungen für das Vorliegen einer Pendelung geprüft werden.

Der Bahnkurventest untergliedert sich in eine Monotonieprüfung und einen Test auf sprunghafte Signaländerung. Die Monotonieprüfung testet den Verlauf zeitlich aufeinander folgender Mitsystemresistanzwerte W_r auf Monotonie. Dieser Test wird nur bei noch nicht erkannter Pendelung – die Bahnkurve der Mitsystemimpedanzwerte Z (aus W_r und W_x gebildet) hat noch nicht das Pendelpolygon PPOL erreicht (vgl. Fig. 2) – durchgeführt, da bei einer synchronen Pendelung die Monotoniebedingung am Umkehrpunkt auf der Bahnkurve der Pendelung verletzt würde. Während einer Pendelung wird ausschließlich geprüft, ob die zeitlich aufeinander folgenden Mitsystemresistanzwerte W_r des Mitsystemimpedanzzeigers eine Mindeständerungsgeschwindigkeit aufweisen. Bleibt der Mitsystemimpedanzzeiger während einer erkannten Pendelung stehen, kann es sich nicht mehr um eine Pendelung handeln. Fig. 2 veranschaulicht die Umschaltung der Kriterien für die Monotonieprüfung.

Die Monotonieprüfung wird über eine geeignet auszuwählende Anzahl N von Kurvenpunkten durchgeführt. Es wird folgendes Kriterium verwendet:

$$\Delta W_{r(k-i)} \cdot \Delta W_{r(k-i-1)} > 0 \quad i=0, N \quad (16)$$

Die Prüfung auf eine Mindeständerungsgeschwindigkeit verwendet einen festzulegenden Schwellwert für die Mitsystemresistanzänderung innerhalb eines Abtastintervalles.

Parallel zur Monotonieprüfung wird ein Test auf sprunghafte Signaländerung durchgeführt. Sprunghafte Änderungen des Mitsystemimpedanzzeigers schließen eine Pendelung aus. Die Entscheidung, ob eine Pendelung vorliegt, erfolgt anhand der zeitlichen Änderung der Mitsystemresistanz W_r und der Mitsystemreaktanzen W_x . Diese Änderungen werden durch Differentiation von W_r und W_x berechnet. Da diese Differentiation numerisch besonders empfindlich ist, ist die gute Glättung der Meßgrößen P , Q und i durch die least-square-Schätzer von entscheidender Bedeutung.

Die Differentiation der Mitsystemresistanz- und der Mitsystemreaktanzen der Meßgrößen W_r und W_x für den Bahnkurventest erfolgt nach einem Verfahren 1. Ordnung:

$$\begin{aligned} \Delta W_r &= W_{r(k)} - W_{r(k-1)} \\ \Delta W_x &= W_{x(k)} - W_{x(k-1)} \end{aligned} \quad (17)$$

mit "k" als Bezeichnung für den aktuellsten Abtastwert.

In diesem Block werden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Test der jeweils aus benachbarten Mitsystemresistanzwerten W_r sich ergebenden beiden ΔW_r -Werte auf Abweichungen kleiner als ein Schwellwert über mehrere Intervalle. Bei mehrfacher Nichterfüllung des Kriteriums liegt ein instationärer Vorgang vor.
- Test der aus jeweils benachbarten Mitsystemreaktanzwerten W_x sich ergebenden beiden ΔW_x -Werte auf Abweichungen kleiner als ein Schwellwert über mehrere Intervalle. Wird bei der Prüfung der Ableitungen in X-Richtung eine sprunghafte Signaländerung festgestellt, wird zusätzlich die totale Ableitung der (R,X)- Bahnkurve auf eine sprunghafte Änderung geprüft. Ein Sprung wird erkannt, wenn die Änderung dZ einen der Mitsystemimpedanz be-

stimmten Anteil von $|Z|$ betragen hat und gleichzeitig der aktuelle Wert für dZ um einen Schwellwert vom im vorhergehenden Meßzyklus gebildeten dZ abweicht.

Diese Prüfungen testen die charakteristischen Muster eines Pendelvorganges. Sind alle diese Kriterien erfüllt, so besteht dringender Verdacht auf Pendelung, und es wird in der Auswerteeinrichtung 16 ein Pendelverdachtsignal erzeugt. Durch Festlegung eines geeigneten Zeitintervalles, in dem diese Monotonieprüfungen durchgeführt werden, wird die maximal erfaßbare Pendelfrequenz bestimmt.

Die beschriebene Prüfung erlaubt eine Unterscheidung zwischen schnellen Ausgleichsvorgängen und Pendelungen. Um Überfunktionen der Pendelerkennung zu vermeiden, wird bei bestehendem Pendelverdacht zusätzlich geprüft, ob die als stetig erkannte Bahnkurve der (R,X)-Bahnkurve weiterhin Merkmale aufweist, die auf einen stationär instabilen Netzzustand hindeuten.

Für die Erkennung des Differenzwinkels δ zwischen den Polrädern der beiden oben erwähnten Ersatzmaschinen wird die Kennlinie der am Einbauort eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Schutzgerätes gemessenen Impedanz verwendet. Unter der Annahme, daß die Impedanz zwischen den beiden Ersatzmaschinen rein induktiv ist, beschreibt am Relaisbauort die Spitze des gemessenen Impedanzzeigers eine Ellipse mit einem Mittelpunkt auf der imaginären Achse als Bahnkurve. Der obere Teil der Ellipse wird bei Winkeldifferenzen bis max. $+90^\circ$ durchlaufen. Der untere Teil der Ellipse wird erst bei Polraddifferenzwinkeln zwischen $-90^\circ < 180^\circ < +90^\circ$ durchlaufen. Wird dieser untere Teil der Ellipse erreicht, befindet sich das Netz in einem stationär instabilen Zustand. Dieser instabile Arbeitspunkt wird durch eine Schätzung des Kreismittelpunktes aus den gemessenen (R,X)-Bahnkurvenpunkten ermittelt. Ist der ermittelte Imaginärteil des Kreismittelpunktes größer als die X-Werte der gemessenen Bahnkurve, so befindet sich das Netz in einem stationär instabilen Arbeitspunkt und die Impedanzbahnkurve kann das Auslösepolygon erreichen. Fig. 3 veranschaulicht diesen Sachverhalt:

Die Bildung der Ableitungen für den Bahnkurventest erfolgt nach einem Verfahren 2. Ordnung:

$$\begin{aligned} dW_r &= W_{r(k)} - W_{r(k-1)} \\ dW_x &= W_{x(k)} - W_{x(k-1)} \end{aligned} \quad (19).$$

Mit den Ableitungen der mittels Least-Squares-Schätzer gewonnen Mitsystemresistanzwerte W_r und Mitsystemreaktanzwerte W_x wird zu jedem Rechenschritt der Mittelpunkt der Impedanzellipse auf der imaginären Achse nach folgendem Ansatz geschätzt:

$$\sum_i \left(W_{x_i} + \frac{dW_{r_i}}{dW_{x_i}} \cdot W_{r_i} - W_{x_0} \right)^2 \Rightarrow \text{MIN} \quad (20)$$

Dieser Ansatz ergibt sich aus einer Parameterdarstellung der Bahnkurvengleichung mit dem Ellipsenwinkel als Parameter, und deren Ableitung mit anschließendem Koeffizientenvergleich. Zur Lösung der Minimierungsaufgabe muß das Gütekriterium nach dem Parameter W_{x_0} abgeleitet werden. Für das Signalmodell nach Gl. (3) erhält man dann zum betrachteten Zeitpunkt k für N zurückliegende Abtastwerte:

$$0 = -2 \cdot \sum_{i=0}^N \left(W_{x_{k-i}} + \frac{dW_{r_{k-i}}}{dW_{x_{k-i}}} \cdot W_{r_{k-i}} - W_{x_0} \right)$$

$$W_{x_0} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \left(W_{x_{k-i}} + \frac{dW_{r_{k-i}}}{dW_{x_{k-i}}} \cdot W_{r_{k-i}} \right) \quad (21)$$

Die Ableitungen der Mitsystemresistanz- und Mitsystemreaktanzwerte W_r und W_x werden hier mit einem Verfahren 2. Ordnung entsprechend Gleichung (19) gebildet:

Zur Unterscheidung, ob sich das aktuell gemessene Wertepaar $[W_r, W_x]$ im stationär stabilen oder instabilen Bereich der Impedanzortskurve befindet, wird der Schätzwert für den Parameter W_{x_0} mit dem aktuellen Meßwert für W_x verglichen:

$$\begin{cases} W_{x_0} < 0 \mid W_x < W_{x_0} \\ W_{x_0} > 0 \mid W_x > W_{x_0} \end{cases} \Rightarrow M = 1; \text{ sonst } M = 0 \quad (22)$$

Das Pendelbestimmungssignal M wird also aktiv, wenn ein stationär instabiler Kurvenpunkt festgestellt wurde. Die Anzahl N der für die Schätzung verwendeten Kurvenpunkte ist geeignet festzulegen. Es werden jedoch nur die Kurvenpunkte für die Schätzung des Mittelpunktes herangezogen, bei denen das Verhältnis W_r/W_x einen festzulegenden Schwellwert unterschreitet. Dadurch werden Meßfehler bei der Kreismittelpunktbestimmung minimiert. Die Kurvenpunkte, für die die obg. Forderung erfüllt ist, kennzeichnen Kurvenabschnitte mit einem extrem flachen Kurvenverlauf. Sind bei einer Schätzung weniger als zwei Kurvenpunkte zu Schätzung des Kreismittelpunktes geeignet, kann davon ausgegangen werden, daß die gesamte Kurve einen extrem flachen Kurvenverlauf aufweist. Ein derartiger Kurvenverlauf entsteht bei Netzpendelungen, wenn die Polradspannungen beider Ersatzmaschinen ca. gleich groß sind. In diesem Fall

kann also auch von einem stationär instabilen Netzzustand ausgegangen werden. Das Pendelbestätigungssignal M wird in diesem Fall ebenfalls aktiv.

Der Test auf instabilen Kurvenpunkt kann nur erfolgreich arbeiten, wenn der zu untersuchende Bahnkurvenabschnitt keine Unstetigkeiten und Umkehrvorgänge enthält. Fig. 4 zeigt die ermittelten Mittelpunkte bei einer synchronen Pendelung.

In Fig. 4 ist deutlich zu erkennen, daß am Umkehrpunkt ein Bahnkurvenmittelpunkt geschätzt wird, der auf einen stabilen Arbeitspunkt in der R-X-Ebene hindeuten würde. Um eine derartige Fehlinterpretation des geschätzten Kurvenmittelpunktes bei einer synchronen Pendelung zu verhindern, wird der Test auf instabilen Kurvenpunkt nur solange durchgeführt, bis eine Pendelung erkannt wurde, d. h. die Bahnkurve ist in das Pendelpolygon PPOL eingetreten. Da nur ein erfolgreich verlaufener Test auf instabilen Kurvenpunkt zu einer Pendelerkennung führen kann, kann während einer erkannten Pendelung auf diesen Test verzichtet werden. Da der Test auf instabilen Kurvenpunkt nur dann durchgeführt wird, wenn die Monotonieprüfung und der Test auf sprunghafte Änderungen des Impedanzzeigers erfolgreich abgeschlossen wurden, können Unstetigkeiten im zu untersuchenden Bahnkurvenabschnitt ausgeschlossen werden.

Zur weiteren Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Fig. 5 über der Zeit t bei einem dreipoligen Fehler der Verlauf der errechneten Mitsystemwirkleistungsgröße P' und der errechneten Mitsystemblindleistungsgröße Q' dargestellt. Deutlich ist der Einfluß der 50 Hz-Komponente bei einem zum Zeitpunkt T aufgetretenen und zum Zeitpunkt T1 abgeschalteten Fehler zu erkennen. Deutlich verbessert sind demgegenüber die Verläufe der Mitsystemwirkleistungsgröße P und der Mitsystemblindleistungsgröße Q nach Fig. 6 bei demselben Fehlerfall infolge der Eliminierung der 50 Hz-Anteile durch die Least-Squares-Schätzer 5 und 8 gemäß Fig. 1.

Bei einem Energieversorgungsnetz treten nach einem dreipoligen Fehler Pendelungen nach der Fehlerklärung auf. Die unter Benutzung der Größen P und Q und mit dem Mitsystemstrom i durchgeführten Berechnungen führen zu einer Bahnkurve aus den Werten W_r und W_x der Mitsystemimpedanz Z, wie sie in Fig. 7 dargestellt ist. Darin bezeichnet Z1 das Auslösepolygon einer inneren Zone und Z2 das Auslösepolygon einer äußeren Zone der zugeordneten Distanzschutzeinrichtung.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Gewinnen eines eine Pendelung in einem elektrischen Energieversorgungsnetz anzeigenden Signals (Pendelsignals), bei dem

– Phasenströme und Phasenspannungen unter Bildung von Phasenstrom- und Phasenspannungsabstastwerten abgetastet werden und

– auf eine Anregung hin aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabstastwerten gebildete Impedanzwerte hinsichtlich ihrer Lage zu einem Pendelpolygon untersucht werden, wobei durch einen Vergleich zeitlich aufeinander folgender Impedanzwerte ein Pendelverdachtsignal gebildet wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

– aus den Phasenstrom- und Phasenspannungsabstastwerten Strom- und Spannungsraumzeiger (i_α , i_β , u_α , u_β) des Mitsystems des Energieversorgungsnetzes gebildet werden,

– mittels der Strom- und Spannungsraumzeiger (i_α , i_β , u_α , u_β) des Mitsystems eine dem Augenblickswert der Mitsystemwirkleistung proportionale Mitsystemwirkleistungsgröße (P') und eine der Mitsystemblindleistung proportionale Mitsystemblindleistungsgröße (Q') gebildet werden,

– mittels jeweils einer least-squares-Schätzung (5, 8) netzfrequente Anteile aus der Mitsystemwirkleistungsgröße (P') unter Bildung einer Wirkleistungsmeßgröße (P) und aus der Mitsystemblindleistungsgröße (Q') unter Bildung einer Blindleistungsmeßgröße (Q) eliminiert werden,

– aus den Stromraumzeigern (i_α , i_β) des Mitsystems eine Mitsystemstromgröße (i') und aus der Mitsystemstromgröße (i') mittels einer weiteren least-squares-Schätzung (14) eine Mitsystemstrommeßgröße (i) gebildet wird,

– durch Quotientenbildung der Wirkleistungsmeßgröße (P) und der quadrierten Mitsystemstrommeßgröße (i) Mitsystemresistanzwerte (W_r) und durch Quotientenbildung der Blindleistungsmeßgröße (Q) und der quadrierten Mitsystemstrommeßgröße (i) Mitsystemreaktanzwerte (W_x) erzeugt werden,

– zeitlich aufeinander folgende, durch jeweils zeitlich einander zugeordnete Mitsystemresistanz- und Mitsystemreaktanzwerte (W_r , W_x) gebildete Mitsystemimpedanzwerte (Z) einer Monotonieprüfung und einer Prüfung auf sprunghafte Änderungen unterzogen werden und

– ein Pendelverdachtsignal gebildet wird, wenn

– die Monotonie der aufeinander folgenden Mitsystemimpedanzwerte (Z) vorliegt, und

– die aufeinander folgenden Mitsystemimpedanzwerte (Z) keine sprunghaften Veränderungen aufweisen,

– ein Pendelbestätigungssignal (M) erzeugt wird, wenn der Absolutwert des Mitsystemreaktanzwertes (W_x) des jeweiligen Mitsystemimpedanzwerts (Z) den Imaginärteil eines Kreismittelpunktes übersteigt, wobei der Kreismittelpunkt durch Schätzung aus einer von Mitsystemimpedanzwerten (Z) gebildeten Bahnkurve bestimmt wird und

– das Pendelsignal (Sp) gebildet wird, wenn

– das Pendelverdacht- und das Pendelbestätigungssignal (M) gleichzeitig vorliegen und der letzte gebildete Mitsystemimpedanzwert (Z) innerhalb des Pendelpolygons (PPOL) liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

– bei innerhalb des Pendelpolygons (PPOL) liegenden, durch jeweils zeitlich einander zugeordnete Mitsystemresistanz- und Mitsystemreaktanzwerte (W_r , W_x) gebildeten Mitsystemimpedanzwerten (Z) zeitlich aufeinander folgende Mitsystemresistanzwerte (W_r) auf das Einhalten einer Mindeständerungsgeschwindigkeit überwacht werden und bei Unterschreiten dieser Mindeständerungsgeschwindigkeit das Pendelsignal (Sp) auf-

gehoben wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

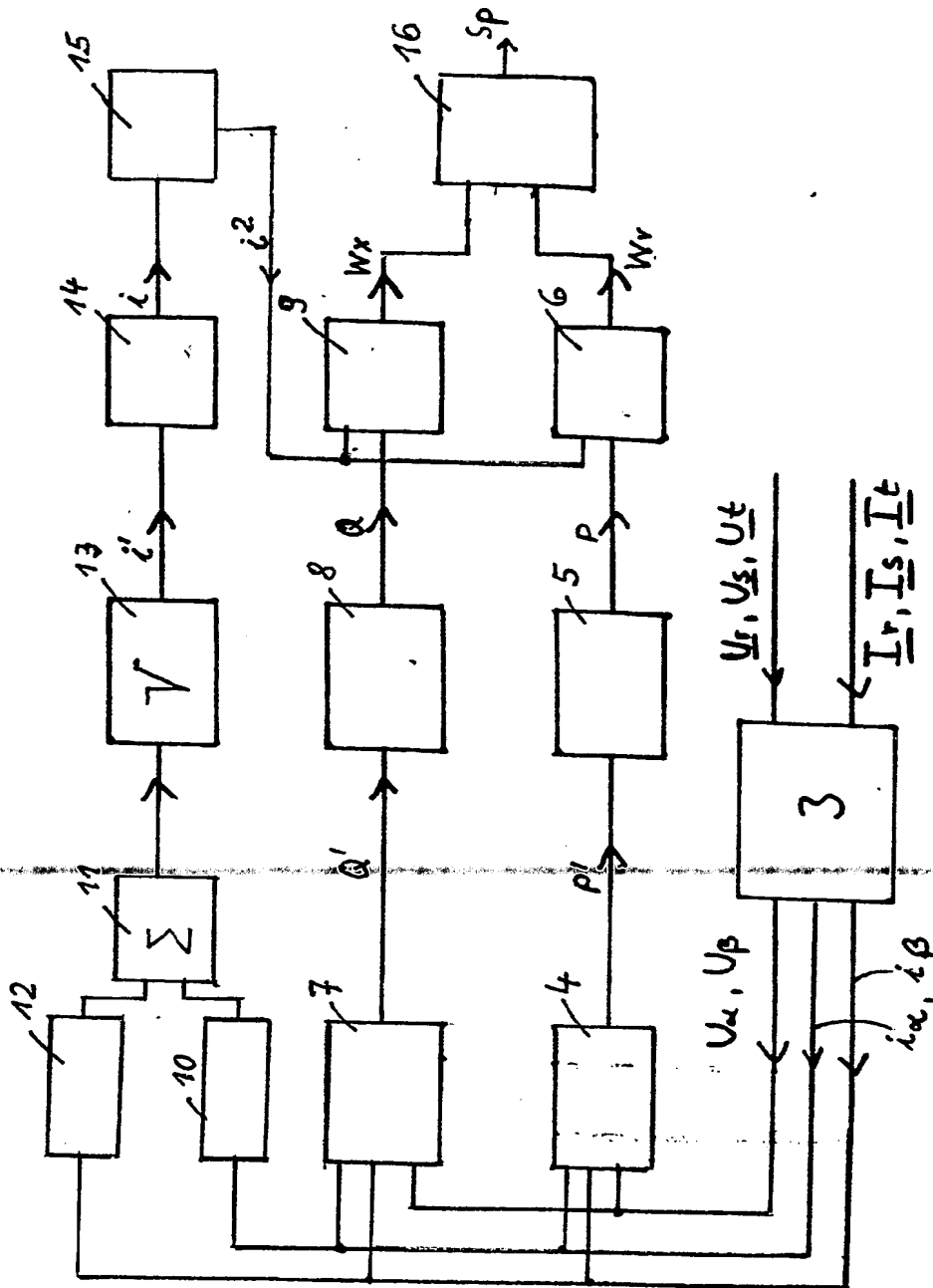
50

55

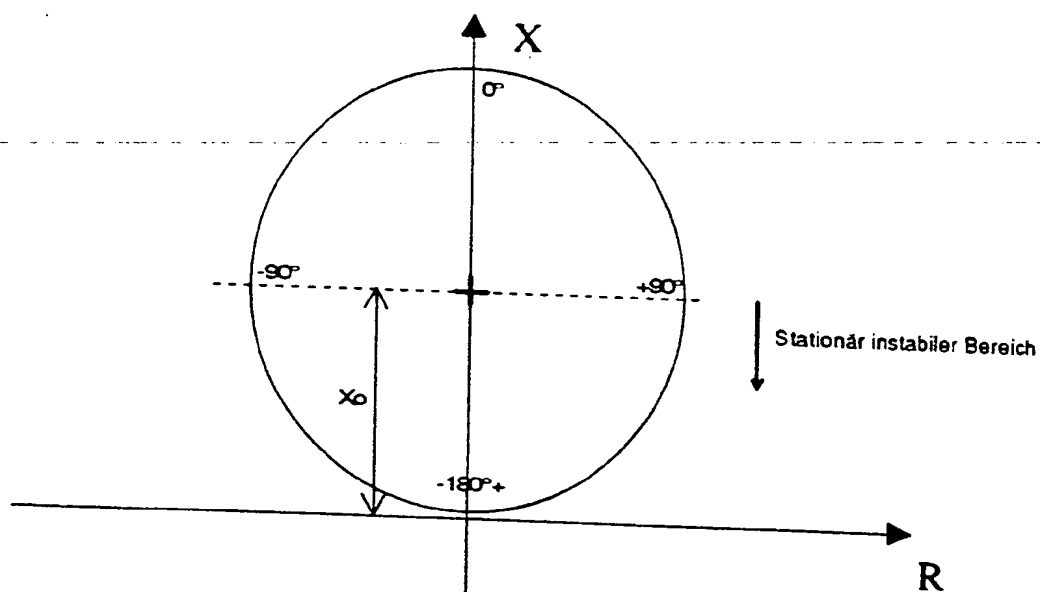
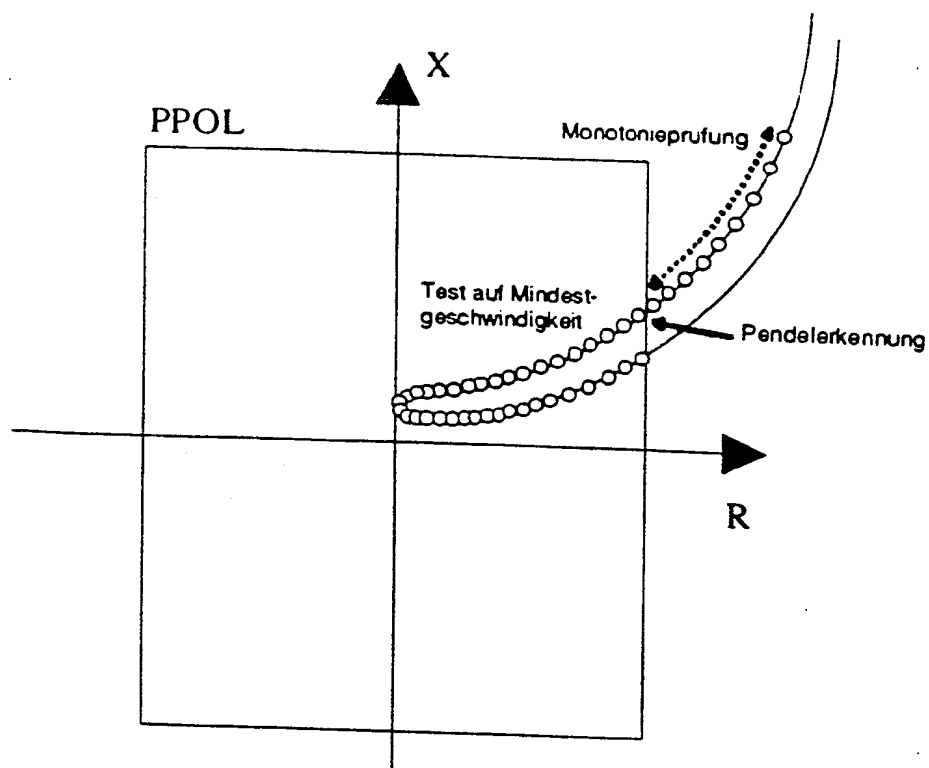
60

65

- Leerseite -



Figur 1



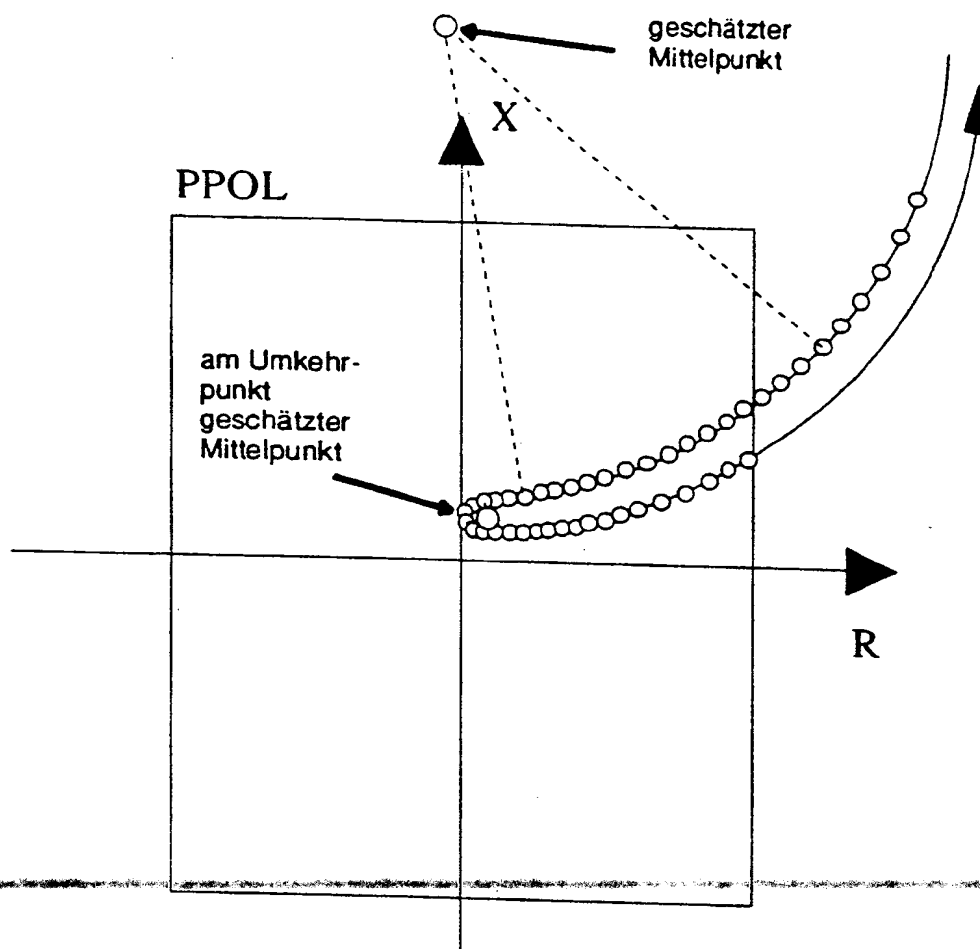


Fig. 4

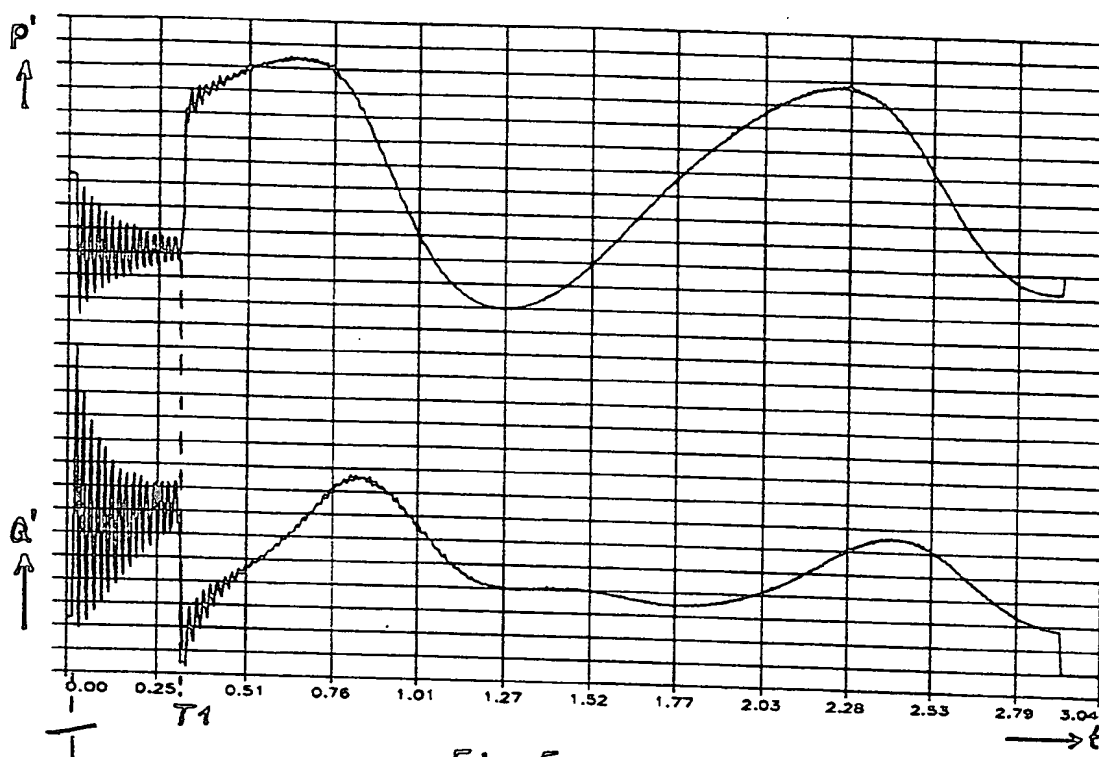


Fig. 5

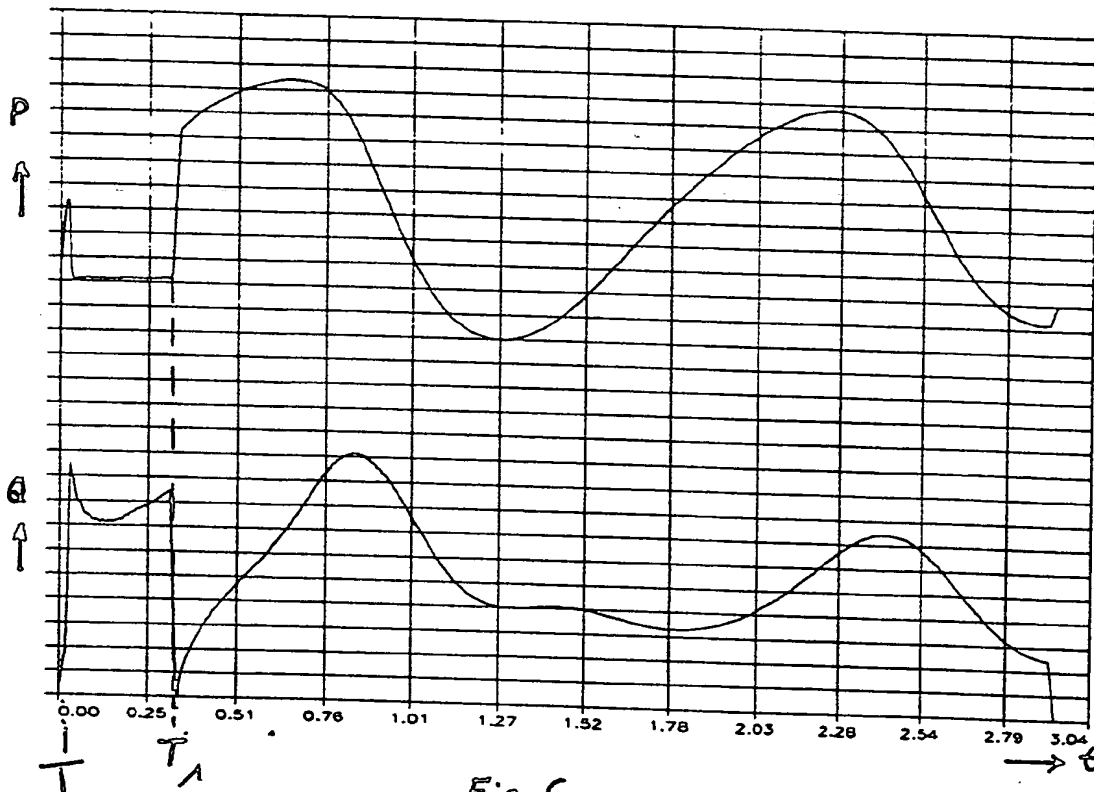


Fig. 6

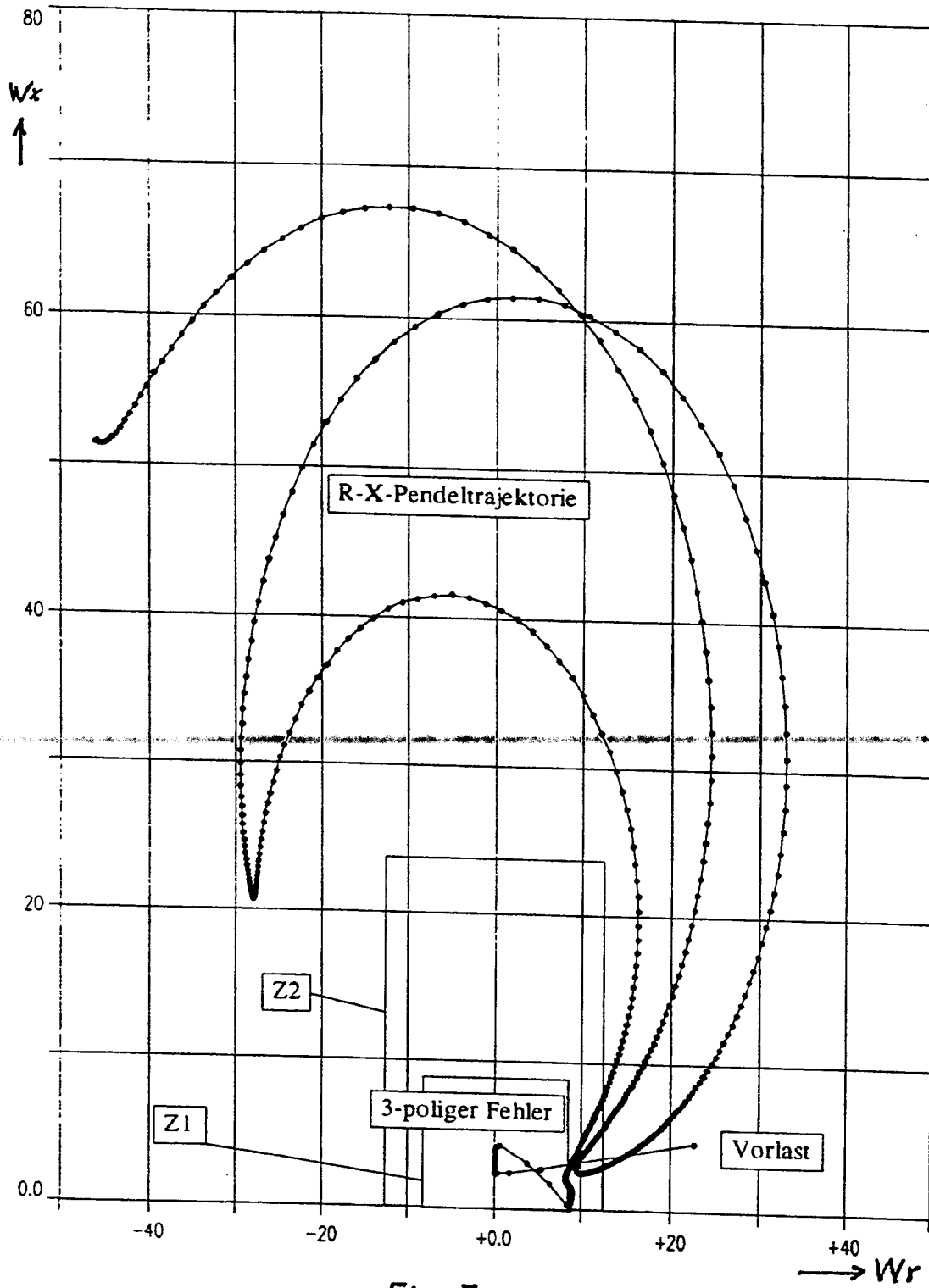


Fig. 7